

51

Int. Cl. 2:

G 01 B 7/22

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



DE 27 15 831 A 1

11

Offenlegungsschrift 27 15 831

21

Aktenzeichen: P 27 15 831.2

22

Anmeldetag: 7. 4. 77

43

Offenlegungstag: 19. 10. 78

30

Unionspriorität:

32 33 31 —

54

Bezeichnung: Vorrichtung zur kapazitiven Dehnungsmessung

71

Anmelder: Electric Power Research Institute, Inc., Palo Alto, Calif. (V.St.A.)

74

Vertreter: Vossius, V., Dipl.-Chem. Dr. rer.nat., Pat.-Anw., 8000 München

72

Erfinder: Norris, Elwood B.; Yeakley, Lester M.; San Antonio, Tex. (V.St.A.)

DE 27 15 831 A 1

2715831

5 u.z.: M 162
Case: 6092-1D

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC.
Palo Alto, California, V.St.A.

10 _____
" Vorrichtung zur kapazitiven Dehnungsmessung "

15 P a t e n t a n s p r ü c h e

1. (1.) Vorrichtung zur kapazitiven Deformationsmessung,
g e k e n n z e i c h n e t durch mindestens zwei jeweils
einen Spalt zwischen sich begrenzende Trägerplatten (10, 12,
20 14), zwei auf der den Spalt begrenzenden Oberfläche einer
Trägerplatte (12) angeordnete erregbare Kondensatorplatten
(22, 24, 22', 24'), eine auf der den Spalt begrenzenden
Oberfläche der anderen Trägerplatte (10, 14) und parallel
zu den erregbaren Kondensatorplatten (22, 24, 22', 24') an-
25 geordnete Kondensatormessplatte (28, 28') und eine Blendenan-
ordnung (32, 34, 32', 34') zwischen den Kondensatorplatten
(22, 24 bzw. 22', 24') und der Kondensatormessplatte (28 bzw.
28') zur Veränderung der Differenz der Kapazitäten zwischen

L

809842/0134

J

ORIGINAL INSPECTED

1 den Kondensatorplatten (22, 24) bzw. 22', 24') und der Kondensatormessplatte (28 bzw. 28') in Abhängigkeit einer Veränderung der Blendeneinstellung.

5 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Blendenanordnung (2) je mindestens eine Durchbrechung (32a bzw. 34a) aufweisende Blendenplatten (32, 34, 32', 34') aufweist, daß sich die Durchbrechungen (32a) der einen Blendenplatte (32, 32') mit den Durchbrechungen
10 (34a) der anderen Blendenplatte (34, 34') überlappen, um dadurch Kondensatorspalte (C1, C2) zu bilden, deren Größe mit der Verschiebung der Blendenplatten (32, 34 bzw. 32', 34') relativ zueinander veränderbar ist, daß die Blendenplatten (32, 34, 32', 34') nach entgegengesetzten Seiten aus dem
15 Spalt herausragen und daß Kupplungsmittel (33, 35, 33') vorgesehen sind, um die aus dem Spalt herausragenden Abschnitte der Blendenplatten (32, 34, 32', 34) mit der Meßoberfläche zu verbinden, in der eine Deformation gemessen werden soll.

20 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kupplungsmittel ein Paar von Abstandselementen (33, 35, 33') umfassen, die in ihrer Dicke dem Abstand zwischen den jeweils nach außen herausragenden Abschnitten der Blendenplatten (32, 34, 32', 34') und der
25 Meßoberfläche entsprechen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erregbaren Kondensatorplatten (22, 24, 22', 24') eine Mehrzahl länglicher, parallel

1 und mit einem Abstand zueinander angeordneter fingerartiger
Vorsprünge aufweisen, wobei die Vorsprünge einer Kondensator-
platte (22, 22') jeweils zwischen den Vorsprüngen der anderen
Kondensatorplatte (24, 24') liegen.

5

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
g e k e n n z e i c h n e t , daß sie eine Oszillatoreinrich-
tung (60) umfaßt, um Wechselstromträgersignale an die erreg-
baren Kondensatorplatten (22, 24, 22', 24') anzulegen, wobei
10 das an die eine erregbare Kondensatorplatte (22, 22' bzw. 24,
24') angelegte Trägersignal bezüglich des an die andere
aktive Kondensatorplatte (24, 24' bzw. 22, 22') angelegten
Trägersignals um 180° phasenverschoben ist, und daß ein
phasenempfindlicher Detektor (165) vorgesehen ist zur Messung
15 von Größe und Phase der durch die Blendenanordnung hindurch
an die Kondensatormessplatte (28, 28') gekoppelten Signale.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -
z e i c h n e t , daß drei stapelartig übereinander geschich-
20 tete Trägerplatten (10, 12, 14) vorgesehen sind, von denen
je zwei einen Spalt zwischen sich definieren, daß in jedem
Spalt mindestens ein kapazitätsveränderndes, verschiebbar
angeordnetes und aus dem Spalt herausragendes Element angeord-
net ist, daß der eine der zwischen je zwei Trägerplatten (10,
25 12 bzw. 12, 14) ausgebildeten Deformationsmesser (16, 16')
gegenüber dem anderen Deformationsmesser (16', 16) um einen
vorbestimmten Winkel verdreht angeordnet ist und daß Kupp-
lungsmittel (33, 35, 33') vorgesehen sind, um die nach außen
L herausragenden Abschnitte der kapazitätsverändernden Elemente

1 mit der Meßoberfläche zu verbinden, in der eine Deformation
gemessen werden soll.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch g e k e n n -
5 z e i c h n e t , daß der vorbestimmte Winkel etwa 90° beträgt,
wodurch die Meßachsen der beiden Deformationsmesser (16, 16')
orthogonal zueinander verlaufen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch
10 g e k e n n z e i c h n e t , daß die Verbindungsmittel eine
Mehrzahl von Abstandselementen (33, 35, 33') umfassen, die in
ihrer Dicke dem Abstand zwischen den jeweils nach außen her-
vorragenden Abschnitten der kapazitätsverändernden Elemente
(32, 34, 32', 34') und der Meßoberfläche entsprechen.

15
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch
g e k e n n z e i c h n e t , daß die beiden Deformations-
messer (16, 16') jeweils mindestens eine erregbare Konden-
satorplatte (22, 24, 22', 24') an der Oberfläche einer spalt-
20 begrenzenden Trägerplatte (12) und eine parallel zu der Kon-
densatorplatte (22, 22', 24, 24') angeordnete Kondensatormeß-
platte (28, 28') an der zum Spalt hinweisenden Oberfläche der
anderen Trägerplatte (10, 14) aufweisen, wobei das kapazitäts-
verändernde Element (32, 34, 32', 34') zwischen der Konden-
25 satorplatte (22, 24, 22', 24') und der Kondensatormeßplatte
(28, 28') liegt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch g e k e n n -
L z e i c h n e t , daß mit jeder der erregbaren Kondensator- J

1 platten (22, 22', 24, 24') eine Oszillatoreinrichtung (60)
zum Erzeugen eines Wechselstromträgersignals verbunden ist
und daß ein Detektor (165) vorgesehen ist, um die durch
die entsprechenden kapazitätsverändernden Elemente (32, 34,
5 32', 34') hindurch mit den Kondensatormessplatten (28, 28')
gekoppelten Wechselstromträgersignale aufzunehmen.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch
g e k e n n z e i c h n e t , daß die Detektorvorrichtung
10 einen mit der Kondensatormessplatte (28) verbundenen Ladungs-
verstärker (62) aufweist und daß eine den Ausgang und den
Eingang des Ladungsverstärkers (62) miteinander koppelnde
Rückkopplungsschleife vorgesehen ist, um ein virtuelles
Erdpotential am Verstärkereingang zu erzeugen.

15

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die Rückkopplungsschleife einen Kon-
densator (66) aufweist.

20

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch
g e k e n n z e i c h n e t , daß sie einen phasenempfind-
lichen Demodulator (165) aufweist, der mit dem Ausgang (64)
des Ladungsverstärkers (62) verbunden ist.

25

2715831

5 u. Z.: M 162

Case: 6092-1D

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC.

Palo Alto, California, V.St.A.

10

" Vorrichtung zur kapazitiven Dehnungsmessung "

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von Deh-
15 nungen oder Spannungen, insbesondere einen biaxialen kapazi-
tiven Dehnungsmesser.

Es ist üblicherweise wünschenswert, die auf verschiedene Ele-
mente einer Struktur einwirkenden Belastungen und Kräfte
20 zu bestimmen, um sicherzustellen, daß diese Elemente in der
geeigneten Weise konstruiert sind, um den auf sie einwirken-
den Belastungen mit einem gewissen Sicherheitsspielraum
standhalten zu können. Während in einfachen Strukturen bei
Kenntnis der Belastungen die Spannungskräfte leicht berech-
25 net werden können, werden diese Berechnungen für komplizierte
Strukturen und/oder unbekannte Lasten unverhältnismäßig komplex
und ihre Lösung ist in vielen Fällen praktisch unmöglich. So
ist es in vielen Anwendungsbereichen wünschenswert, die Kräfte
empirisch zu bestimmen. Im allgemeinen sind die Kräfte einer

809842/0134

1 direkten Messung nicht zugänglich. Vielmehr wird die mit der
angreifenden Kraft in einer direkten funktionalen Beziehung
stehende Dehnung oder Deformation des Materials unter Verwen-
5 dung von Dehnungs- oder Spannungsmessern gemessen.

Ein Dehnungsmesser oder Dehnungsmeßwandler ist eine Vorrich-
tung, welche eine Änderung einer elektrischen Größe in Ab-
hängigkeit der Spannung oder der Deformation des Materials
zeigt, mit dem sie verbunden ist. Der am weitesten verbreite-
10 te Typ ist der Widerstandsdehnungsmesser, umfassend einen
Draht, der bei Dehnung eine Änderung seines elektrischen
Widerstandes zeigt. Dieser Draht des Widerstandsdehnungsmes-
sers wird an der Oberfläche des Materials, in dem eine Span-
nung gemessen werden soll, so befestigt, daß die auftretende
15 Spannung oder Dehnung eine entsprechende Änderung des Wider-
standes hervorruft. Eine geeignete elektronische Schaltung,
die üblicherweise eine Wheatstone-Brücke umfaßt, dient dazu,
die Änderung des Widerstandes und damit die Dehnung zu erfas-
sen und zu messen.

20 Unglücklicherweise zeigen Drähte, welche die wünschenswerten
Eigenschaften für eine Verwendung in Widerstandsdehnungsmes-
sern aufweisen, im allgemeinen auch Änderungen des Widerstan-
des in Abhängigkeit von Temperaturänderungen. Für kurze Zeit-
25 abschnitte können diese Änderungen durch eine Temperatur-
kompensationsschaltung kompensiert werden. Längeres Einwirken
von höheren Temperaturen aber kann zu Änderungen des Wider-
standes führen, die durch unter der Bezeichnung "thermisches
L Altern" bekannte Erscheinungen hervorgerufen werden. Diese

1 Änderungen des Widerstandes können im allgemeinen nicht kompensiert werden.

Eine andere Art von Dehnungsmessern oder Dehnungsmeßwandlern
5 verwendet die Änderung einer Kondensatorkapazität in Abhängigkeit der Dehnung oder Spannung als Meßgröße. Die bisherigen kapazitiven Dehnungsmesser sind in der Weise ausgebildet, daß die operativen Elemente der Vorrichtung der Belastung ausgesetzt sind. In diesen kapazitiven Dehnungsmessern und in
10 Widerstandsdehnungsmessern, bei denen in ähnlicher Weise das elektrische Widerstandselement den einwirkenden Kräften ausgesetzt ist, ändern sich die elektrischen Eigenschaften der Meßvorrichtungen allmählich bei längerer Einwirkung einer Belastung als Folge einer permanenten Deformation der belasteten Elemente. Diese Erscheinungen werden allgemein als "Kriechen" bezeichnet. Infolge des Kriechens und des thermischen Alterns sind Dehnungsmesser im allgemeinen instabil, wenn sie
15 über lange Zeiträume und insbesondere bei hohen Temperaturen verwendet werden.

20 Im allgemeinen sind Dehnungsmesser einachsrig, d.h. sie reagieren nur auf Dimensionsänderungen in einer einzigen Richtung. Um die Kräfte an einem Punkt genau bestimmen zu können, ist es aber notwendig, die Dehnung oder Spannung in mindestens
25 zwei Richtungen zu messen, woraus sich die wahre Größe und Richtung der Spannung bestimmen läßt. Zu diesem Zwecke können zwei oder mehr Dehnungsmesser nahe beieinander und mit einer bestimmten Winkelstellung zueinander an der zu untersuchenden Oberfläche angebracht werden. Diese Annäherung wird ungenau,

- 1 wenn die tatsächlich gemessenen Spannungen nicht an exakt der gleichen Stelle auftreten. Daher sind im allgemeinen Dehnungsmesser vorzuziehen, die übereinandergeschichtet werden können, um auf diese Weise einen mehrachsigen Dehnungsmesser zu schaffen.
- 5 Dieser kann auf in unterschiedlichen Richtungen wirkende Spannungen ansprechen, die im wesentlichen an ein und derselben Stelle der zu prüfenden Materialoberfläche registriert werden.
- 10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen kapazitiven Dehnungsmesser anzugeben, der eine verbesserte Langzeitstabilität aufweist und im wesentlichen unanfällig ist für thermisches Altern und Kriechen. Ferner soll der kapazitive Dehnungsmesser so ausgebildet sein, daß er für die Herstellung eines mehrachsigen kapazitiven Dehnungsmessers geeignet ist und bei einfacher
- 15 Bauart zuverlässig und genau arbeitet.
- Zur Lösung dieser Aufgaben wird gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung ein zweiachsiger kapazitiver Dehnungsmesser mit einer lamellaren Schichtenstruktur vorgeschlagen, die zwei einachsige kapazitive Dehnungsmesser mit orthogonal zueinander liegenden Messrichtungen definiert. Jeder kapazitive Dehnungsmesser umfaßt aktive durch einen Oszillator erregte Kondensatorplatten und eine Kondensatormessplatte, die
- 20 in einem Abstand zu den erregten Kondensatorplatten und parallel zu diesen angeordnet ist. Ein Blendenmechanismus in Form zweier mit Durchbrechungen versehenen Blendenplatten ist zwischen den aktiven Kondensatorplatten und den Kondensatormessplatten angeordnet. Die Endabschnitte der mit Durch-
- 25

1 brechungen versehenen Blendenplatten ragen aus der Schichten-
struktur und sind mit der Oberfläche verbunden, in welcher eine
Spannung oder Dehnung gemessen werden soll. Eine Spannung führt
zu einer relativen Verschiebung zwischen den Blendenplatten,
5 was wiederum eine Änderung der durch die Durchbrechungen hin-
durch erfolgenden kapazitiven Kopplung zwischen der Kondensator-
satormeßplatte und den aktiven Kondensatorplatten zur Folge
hat.

10 Diese Kapazitätsdifferenz steht daher in einer funktionalen
Beziehung zu der zu messenden Spannung und wird durch eine
geeignete elektronische Vorrichtung registriert und gemessen.
In einer besonderen Ausführung werden die aktiven Kondensator-
platten jedes Dehnungsmessers durch zwei in der Amplitude
15 gleiche aber um 180° gegeneinander phasenverschobene Signale
erregt. Der von den Blendenplatten gebildete Blendenmechanis-
mus bewirkt infolge der im Material auftretenden Spannung eine
Abnahme der Kapazität zwischen der einen aktiven Kondensator-
platte und der Kondensatormeßplatte und gleichzeitig eine Zu-
20 nahme der Kapazität zwischen der anderen aktiven Kondensator-
platte und der Kondensatormeßplatte. Die resultierende Ände-
rung in den Signalniveaus wird von einem phasenempfindlichen
Demodulator aufgenommen, der ein der Spannung proportionales
Analogsignal erzeugt.

25 Da die den Blendenmechanismus bildenden Blendenplatten des
kapazitiven Dehnungsmessers gemäß der vorliegenden Erfindung
keinen Spannungskräften ausgesetzt sind, ist die Erscheinung
L des Kriechens im wesentlichen ausgeschaltet. Ferner werden J

1 alle Kondensatorplatten in einer festen Zuordnung zueinander
gehalten, um auf diese Weise die Erscheinungen des thermischen
Alterns und Kriechens auf ein Minimum zu reduzieren. Damit er-
hält man einen kapazitiven Dehnungsmesser mit verbesserter
5 Langzeitstabilität. Die für den zweiachsigen kapazitiven
Dehnungsmesser gemäß der vorliegenden Erfindung verwendete
elektronische Vorrichtung ist relativ unbeeinflusst von Ver-
stärkerdrift oder Störsignalen. Insbesondere können die Aus-
gänge des Dehnungsmessers auf einem virtuellen Erdpotential
10 gehalten werden durch Verwendung einer geeigneten negativen
Rückkopplungsschleife in Verbindung mit den Verstärkern, die
mit den Ausgängen des Dehnungsmessers verbunden sind. Wenn die
Kapazitäten zwischen den aktiven Kondensatorplatten und der
Kondensatormesplatte nicht im Gleichgewicht stehen, liefert
15 daher der Ausgang des Verstärkers über die Rückkopplungs-
schleife die notwendige Ladung, um den Eingang auf das virtuel-
le Erdpotential zu bringen. Wenn die Ausgangsleitungen des
Dehnungsmessers auf dem Erdpotential liegen, gibt es keine
kapazitive Kopplung zwischen diesen Leitungen und der Erde.
20 So kann ein geerdetes abgeschirmtes Kabel verwendet werden,
um die Leitungen gegen Störsignale abzuschirmen. Die Drähte
von beiden Kondensatormesplatten des zweiachsigen Dehnungs-
messers können in der gleichen Abschirmung geführt werden,
ohne daß ein "Übersprechen" stattfindet. Die Kabel können
25 lang ausgeführt sein und eine Umwicklung tragen, ohne daß
dabei nachteilige Auswirkungen auftreten.

Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der folgenden
L Beschreibung, in der in Verbindung mit den beiliegenden

1 Zeichnungen die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels
erläutert wird. Es stellen dar:

5 Fig. 1 eine teilweise aufgebrochene perspektivische Ansicht
eines zweiachsigen kapazitiven Dehnungsmessers gemäß
einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden
Erfindung,

10 Fig. 2 einen Querschnitt durch die in Fig. 1 dargestellte
Vorrichtung,

Fig. 3a und 3b Draufsichten auf die aktiven Kondensatorplat-
ten der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung,

15 Fig. 4 eine teilweise aufgebrochene Draufsicht auf die
den Blendenmechanismus bildenden Blendenplatten in
der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung, und

20 Fig. 5 ein schematisches Diagramm des zweiachsigen kapazi-
tiven Dehnungsmessers gemäß der Erfindung mit der
zugehörigen elektronischen Schaltung.

25 In den Fig. 1 und 2 erkennt man einen allgemein mit A be-
zeichneten zweiachsigen kapazitiven Dehnungsmesser gemäß
einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung. Der Dehnungs-
messer A umfaßt drei Trägerplatten oder Lamellen 10, 12 und
14, die aufeinandergeschichtet sind, wobei jeweils zwei
Lamellen 10, 12 bzw. 12, 14 einen Spalt zwischen sich be-

1 grenzen. Ein erster einachsiger kapazitiver Dehnungsmesser 16,
der auf eine Spannung in einer ersten Richtung oder Achse an-
spricht, ist in dem Spalt zwischen den einander benachbarten
und in einem Abstand zueinander angeordneten Oberflächen der
5 Lamellen 10 und 12 ausgebildet. In gleicher Weise ist ein
zweiter Dehnungsmesser 16' in dem Spalt zwischen den einander
benachbarten und in einem Abstand zueinander angeordneten
Oberflächen der Lamellen 12 und 14 ausgebildet. Der zweite
Dehnungsmesser 16' spricht auf eine Spannung in einer zweiten
10 Richtung oder Achse an, die in einem rechten Winkel zu der
ersten Achse verläuft.

Gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der
zweite Dehnungsmesser 16' in seinem Aufbau im wesentlichen
15 identisch mit dem ersten Dehnungsmesser 16, jedoch gegenüber
diesem um 90° versetzt, um dadurch die Meßachsen der Dehnungs-
messer 16 und 16' orthogonal zueinander auszurichten. Es
wird daher nur der erste Dehnungsmesser 16 im Detail be-
schrieben, wobei diese Beschreibung auch für den zweiten
20 Dehnungsmesser 16' gilt. Zum leichteren Verständnis sind die
in Verbindung mit dem ersten Dehnungsmesser 16 verwendeten
Bezugsziffern in den Zeichnungen auch für entsprechende Ele-
mente des zweiten Dehnungsmessers 16' verwendet worden unter
Hinzufügen eines Striches. Das heißt die Elemente 22, 24
25 usw. des ersten Dehnungsmessers 16 entsprechen Elementen
22', 24' usw. des zweiten Dehnungsmessers 16'.

Der Dehnungsmesser 16 umfaßt zwei aktive Kondensatorplatten

1 22 und 24, die auf der zum Spaltinneren hinweisenden Oberfläche
der Lamelle 12 angeordnet sind. Die Kondensatorplatten 22 und
24 werden als aktive Kondensatorplatten bezeichnet, da sie
durch Signale von der in Verbindung mit dem Dehnungsmesser
5 verwendeten elektronischen Einrichtung erregt werden. In
Fig. 3a erkennt man, daß die aktiven Kondensatorplatten 22 und
24 in einer Ebene liegen und jeweils mit einer Reihe von
parallel zueinander liegenden länglichen Vorsprüngen oder
Fingern ausgebildet sind, die an ihrer Basis miteinander ver-
10 bunden sind. Die Finger der aktiven Kondensatorplatten 22
und 24 greifen derart ineinander, daß die Finger der aktiven
Kondensatorplatten 22 und 24 in alternierender Folge parallel
zueinander in einer Reihe liegen. Wie man aus dem folgenden
noch genauer erkennen wird, verlaufen die Finger der aktiven
15 Kondensatorplatten 22 und 24 im wesentlichen senkrecht zur
Spannungsmeßachse des Dehnungsmessers 16. So erkennt man aus
Fig. 3b, in der die aktiven Kondensatorplatten 22' und 24'
des zweiten Dehnungsmessers 16' dargestellt sind, daß die
Kondensatorplatten 22' und 24' um 90° relativ zu den Kondensator-
20 satorplatten 22 und 24 gedreht sind, wodurch die Spannungs-
meßachse des Dehnungsmessers 16' rechtwinklig zur Spannungs-
meßachse des Dehnungsmessers 16 verläuft.

Ein Überzug aus einem dielektrischen Material bedeckt die
25 Kondensatorplatten 22 und 24. Der dielektrische Überzug 26
dient zur Isolierung der aktiven Kondensatorplatten 22 und
24 gegenüber den anderen Elementen des Dehnungsmessers 16.
Eine Ecke der Kondensatorplatten 22 und 24 ist jeweils nicht

- 1 isoliert, so daß elektrische Leitungen 38 und 40 an den entsprechenden Kondensatorplatten 22 und 24 befestigt werden können, was üblicherweise durch Punktschweißen erfolgt.
- 5 Auf der zum Spaltinneren hinweisenden inneren Oberfläche der Lamelle 10 ist eine Kondensatormessplatte 28 angeordnet. Die Kondensatormessplatte 28 ist auf diese Weise parallel und in einem Abstand zu den aktiven Kondensatorplatten 22 und 24 gehalten. Die Kondensatormessplatte 28 hat allgemein eine
- 10 rechteckige Form, entsprechend dem von den Fingern der Kondensatorplatte 22 und 24 eingenommenen Bereich. Die Kondensatormessplatte 28 wird so genannt, weil sie mit einer geeigneten elektronischen Vorrichtung zum Messen der Änderung in der Kapazitätsdifferenz der aktiven Platten 22 und 24 verbunden ist. Eine elektrische Leitung 36 ist daher an der
- 15 Kondensatormessplatte 28 befestigt, und zwar vorzugsweise durch Punktschweißen an einer Ecke der Kondensatormessplatte 28. Die Oberfläche der Kondensatormessplatte 28 ist von einer dielektrischen Schicht 30 bedeckt, ähnlich dem die Kondensatorplatten 22 und 24 bedeckenden dielektrischen Überzug 26,
- 20 um die Kondensatormessplatte 28 von den übrigen Elementen des Dehnungsmessers 16 zu isolieren.

Wie man aus den Fig. 2 und 4 erkennt, ist zwischen den aktiven Kondensatorplatten 22 und 24 und der Kondensatormessplatte 28 ein Blendenmechanismus in Form von mit Durchbrechungen versehenen Blendenplatten 32 und 34 angeordnet. Die Blendenplatten 32 und 34 sind in dem zwischen den Lamellen 10 und 12 definierten Spalt so gelagert, daß sie längs der

1 Spannungsmessachse des Dehnungsmessers 16 bewegt werden können.
Die Blendenplatten 32 und 34 erstrecken sich nach entgegen-
gesetzten Seiten über die Lamellen 10 und 12 hinaus, so daß sie
mit der Oberfläche verbunden werden können, in der eine Dehnung
5 oder Spannung gemessen werden soll. Zu diesem Zweck sind an
den äußeren Enden der Blendenplatten 32 und 34 Distanzelemente
33 bzw. 35 befestigt. Die Dicke der Distanzelemente 33 und 35
entspricht dem Abstand zwischen den Blendenplatten 32 und 34
und der Oberfläche, in der eine Deformation
10 bzw. Dehnung gemessen werden soll. Daher führt ein Zusammen-
drücken oder Dehnen der Oberfläche, in welcher eine Spannung
gemessen werden soll, zu einer Verschiebung der Blendenplat-
ten 32 und 34 relativ zueinander. Diese Verschiebung wird da-
zu verwendet, eine Kapazitätsdifferenz zwischen den aktiven
15 Kondensatorplatten 22 und 24 und der Kondensatormeßplatte 28
zu erzeugen.

Wie man in Fig. 4 erkennt, weisen die Blendenplatten 32 und
34 jeweils eine Mehrzahl von rechteckigen Durchbrechungen
20 auf, die mit 32a bzw. 34a bezeichnet sind. Die Durchbrechun-
gen 32a und 34a sind parallel zu den Fingern der aktiven
Kondensatorplatten 22 und 24 ausgerichtet. Wenn die Blenden-
platten 32 und 34 übereinander liegen, sind die Durchbrechun-
gen 32a und 34a gegeneinander versetzt und bilden dadurch eine
25 Vielzahl von länglichen rechteckigen, durch die Platten 32 und
34 hindurch offenen Durchtrittsschlitzten. Genauer gesagt ist
jede der Durchbrechungen 32a bezüglich zweier benachbarter
Durchbrechungen 34a so zentriert, daß zwei durch die einander

1 überlappenden Abschnitte der Durchbrechungen 32a und 34a hin-
durch offene Kondensatorspalte C1 und C2 gebildet sind. Die
Zahl der Kondensatorspalte C1 und C2 ist also doppelt so
groß wie die Zahl der Durchbrechungen 32a und 34a in den
5 Blendenplatten 32 bzw. 34.

Auf diese Weise ist eine alternierende Reihe von Kondensator-
spalten C1 und C2 gebildet, die sich voneinander in der Weise
unterscheiden, daß ihre Abmessungen in entgegengesetzter Weise
10 variieren, wenn die Blendenplatten 32 und 34 relativ zueinan-
der verschoben werden. So bewirkt eine Einwärtsbewegung der
Blendenplatten 32 und 34 eine Verringerung des Kondensator-
spaltes C1, während gleichzeitig der Kondensatorspalt C2 ver-
größert wird. In dem Dehnungsmesser sind also die Kondensator-
15 spalte C1 nahe den Fingern der Kondensatorplatte 22 angeordnet,
die Kondensatorspalte C2 dagegen nahe den Fingern der Kondensatorplatte 24. Entsprechend führt eine Einwärtsverschiebung
der Blendenplatten 32 und 34 zu einer Abnahme der Kapazität
zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensatormeß-
20 platte 28, während gleichzeitig die Kapazität zwischen der
Kondensatorplatte 24 und der Kondensatormeßplatte 28 ver-
größert wird. In ähnlicher Weise führt eine Auswärtsbewegung
der Blendenplatten 32 und 34 zu einer Vergrößerung der Kapazi-
tät zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensatormeß-
25 platte 28, wogegen gleichzeitig die Kapazität zwischen der
Kondensatorplatte 24 und der Kondensatormeßplatte 28 ver-
kleinert wird.

L Das Arbeitsprinzip des Dehnungsmessers liegt also darin, daß L
809842/0134

1 jeweils die Tatsächlichkapazität zwischen der Kondensator-
meßplatte 28 und der Kondensatorplatte 22 bzw. 24 durch die
relative Lage der Blendenplatten bestimmt ist. Die tatsächliche
Kapazität zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensator-
meßplatte 28 ist der Fläche des Kondensatorspaltes C1
5 proportional. Wird nur ein Kondensatorspalt C1 betrachtet,
ergibt sich unter Vernachlässigung von Randeffekten für die
Kapazität zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensator-
meßplatte 28:

10

$$C_1 = k \cdot x_1 \cdot l_c$$

Dabei ist k eine Proportionalkonstante, deren Wert vom
Plattenabstand und der Dielektrizitätskonstante abhängt.

15 Entsprechend ergibt sich für die Kapazität zwischen der
Kondensatorplatte 24 und der Kondensatormeßplatte 28:

$$C_2 = k \cdot x_2 \cdot l_c$$

20 Für die Kapazitätsdifferenz erhält man daher:

$$C_d = C_1 - C_2 = k l_c \cdot (x_1 - x_2)$$

da aber

$$x_c = x_1 + x_a + x_2$$

25

folgt

$$C_d = k l_c \cdot (2x_1 + x_a - x_c).$$

Dabei ist mit l_c die Länge eines Schlitzes 34a, mit x_a die
L Breite eines Steges zwischen zwei einander benachbarten Durch-

1 überlappenden Abschnitte der Durchbrechungen 32a und 34a hin-
durch offene Kondensatorspalte C1 und C2 gebildet sind. Die
Zahl der Kondensatorspalte C1 und C2 ist also doppelt so
groß wie die Zahl der Durchbrechungen 32a und 34a in den
5 Blendenplatten 32 bzw. 34.

Auf diese Weise ist eine alternierende Reihe von Kondensator-
spalten C1 und C2 gebildet, die sich voneinander in der Weise
unterscheiden, daß ihre Abmessungen in entgegengesetzter Weise
10 variieren, wenn die Blendenplatten 32 und 34 relativ zueinan-
der verschoben werden. So bewirkt eine Einwärtsbewegung der
Blendenplatten 32 und 34 eine Verringerung des Kondensator-
spaltes C1, während gleichzeitig der Kondensatorspalt C2 ver-
größert wird. In dem Dehnungsmesser sind also die Kondensator-
15 spalte C1 nahe den Fingern der Kondensatorplatte 22 angeordnet,
die Kondensatorspalte C2 dagegen nahe den Fingern der Kondensatorplatte 24. Entsprechend führt eine Einwärtsverschiebung
der Blendenplatten 32 und 34 zu einer Abnahme der Kapazität
zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensatormeß-
20 platte 28, während gleichzeitig die Kapazität zwischen der
Kondensatorplatte 24 und der Kondensatormeßplatte 28 ver-
größert wird. In ähnlicher Weise führt eine Auswärtsbewegung
der Blendenplatten 32 und 34 zu einer Vergrößerung der Kapazi-
tät zwischen der Kondensatorplatte 22 und der Kondensatormeß-
25 platte 28, wogegen gleichzeitig die Kapazität zwischen der
Kondensatorplatte 24 und der Kondensatormeßplatte 28 ver-
kleinert wird.

L Das Arbeitsprinzip des Dehnungsmessers liegt also darin, daß J
809842/0134

1 brechungen 32a, mit x_c die Breite einer Durchbrechung 34a, mit x_1 die Breite eines Kondensatorspaltes C_1 und mit x_2 die Breite eines Kondensatorspaltes C_2 bezeichnet.

5 Die Kapazitätsdifferenz ist also eine Funktion der relativen Lage der Blendenplatten 32 und 34 sowie der Dimensionen der Durchbrechungen 32a und 34a und der Konstante k .

Die Ansprechgenauigkeit des Dehnungsmessers auf eine Relativ-
10 verschiebung der Blendenplatten 32 und 34 wird ausgedrückt durch:

$$K_x = N \frac{dCd}{dx_1} = 2N \cdot k \cdot l_c$$

15 Dabei gibt N die Anzahl der Durchbrechungen 32a bzw. 34a an, von denen bei der vorstehenden Analyse nur eine betrachtet wurde.

Wie oben bereits kurz ausgeführt wurde, ist der zum Dehnungs-
20 messer 16 orthogonal ausgerichtete Dehnungsmesser 16' mit dem Dehnungsmesser 16 hinsichtlich des Aufbaus und der Arbeitsweise im wesentlichen identisch. Natürlich soll der Dehnungsmesser 16' auf orthogonal zur Spannungsmeßachse des Dehnungsmessers 16 gerichtete Deformationen ansprechen und daher sind
25 alle Elemente des Dehnungsmessers 16' gegenüber den entsprechenden Elementen des Dehnungsmessers 16 um 90° gedreht.
Im übrigen stimmen Aufbau und Arbeitsweise mit der vorstehenden Beschreibung überein.

1 Der zweiachsige kapazitive Dehnungsmesser A gemäß der bevor-
zugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt
Sicherungseinrichtungen gegen Interferenzerscheinungen und
Störsignale. Insbesondere sind ein Paar von Abschirmplatten
5 20 an den äußeren Oberflächen der Lamellen 10 bzw. 14 vorge-
sehen, die an der Abschirmung des Dehnungsmessers A geerdet
sind. In der gleichen Weise sind die Blendenplatten 32, 34,
32' und 34' geerdet. Wenn der Dehnungsmesser A auf einer geer-
deten Metalloberfläche befestigt wird, kann die Erdung der
10 jeweiligen Platten durch Berührung mit der Oberfläche erfol-
gen, in der eine Deformation gemessen werden soll. Im anderen
Fall, wenn der Dehnungsmesser A auf einer isolierten oder
nicht geerdeten Oberfläche verwendet werden soll, sollten
Erdungsleitungen zu den Blendenplatten vorgesehen sein. Zu-
15 sätzlich zu der Abschirmung durch die Abschirmplatten 20 und
die Blendenplatten 32 bzw. 34 erfolgt eine zusätzliche Isolie-
rung gegen Interferenzerscheinungen und Störsignale aus der
Art der elektronischen Einrichtung, die zusammen mit dem
Dehnungsmesser A verwendet wird und nun im folgenden beschrie-
20 ben werden soll.

Unter Bezugnahme auf Fig. 5 soll nun die zusammen mit dem
Dehnungsmesser A verwendete elektronische Einrichtung genauer
beschrieben werden. Da die Dehnungsmesser 16 und 16' im
25 wesentlichen unabhängig voneinander sind, ist eine doppel-
kanalige Ausführung der elektronischen Einrichtung für die
beiden Dehnungsmesser 16 und 16' vorgesehen, mit der Ausnahme,
daß ein einziger Signalgeber zum Erregen der Dehnungsmesser

- 1 verwendet werden kann. Der Dehnungsmesser 16 wird von einem
einen sehr niedrigen Ausgangswiderstand aufweisenden Oszilla-
tor 60 her durch zwei gegeneinander um 180° -phasenversetzte
Trägersignale gleicher Amplitude erregt. Die Leitung 38
5 verbindet also einen ersten Phasenausgang des Oszillators
60 mit der Kondensatorplatte 22. Entsprechend verbindet die
Leitung 40 den Ausgang für die zweite Phase (um 180° gegenüber
der ersten Phase phasenversetzt) des Oszillators 60 mit der
Kondensatorplatte 24. Da ein einziger Oszillator 60 zur Er-
10 regung beider Dehnungsmesser 16 und 16' verwendet werden kann,
sind die Kondensatorplatten 22 und 22' parallel zueinander
an die Leitung 38 und die Kondensatorplatten 24 und 24'
parallel zueinander an die Leitung 40 angeschlossen.
- 15 Der Dehnungsmesser 16 kann mit zwei veränderbaren Kondensa-
toren verglichen werden, die miteinander in der Weise ge-
koppelt sind, daß ihre Kapazitäten sich invers zueinander
ändern, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist. Die Ausgänge
der beiden Kondensatoren fallen zusammen in der Kondensator-
20 platte 28, die mit einer Ausgangsleitung 36 verbunden ist.
Ohne eine erzwungene Spannung oder Deformation sind die
von den Blendenplatten 32 und 34 gebildeten Kondensator-
spalte C1 und C2 im wesentlichen identisch in ihrer Größe,
so daß gleiche Amplituden des ersten in Phase befindlichen
25 Oszillatorsignales und des zweiten oder phasenversetzten
Oszillatorsignales mit der Kondensatormessplatte 28 ge-
koppelt werden. Die Signale gleicher Amplitude löschen einan-
der aus, so daß das Ausgangssignal des Dehnungsmessers 16
bei nicht vorhandener Deformation gleich Null ist. Ein Zu-

1 sammendrücken der Oberfläche, an der eine Deformation gemessen
werden soll, führt zu einer Verengung der Kondensatorspalte
C1 und gleichzeitig zu einer Erweiterung der Kondensator-
schlitze C2. Daraus ergibt sich eine Reduzierung der Amplitude
5 des durch die Kondensatorschlitze C1 mit der Kondensatormeiß-
platte 28 gekoppelten, in Phase befindlichen Oszillatorsignals
und gleichzeitig eine Vergrößerung der Amplitude des durch
die Kondensatorspalte C2 hindurch mit der Kondensatormeißplatte
28 gekoppelten phasenverschobenen Oszillatorsignals. Eine
10 Druckdeformation verursacht also ein phasenverschobenes Aus-
gangssignal an der Ausgangsleitung 36. Entsprechend bewirkt
eine Dehnungsdeformation die Vergrößerung der Kondensator-
spalte C1 und eine Verengung der Kondensatorspalte C2, was
zu einem in Phase befindlichen Ausgangssignal an der Ausgangs-
15 leitung 36 führt.

Um das an der Ausgangsleitung 36 auftauchende Signal aufzu-
nehmen und zu messen, ist die Ausgangsleitung 36 an den Ein-
gang eines Ladungsverstärkers 62 zur Verstärkung des Signals
20 angeschlossen. Der Ladungsverstärker 62 weist einen Rück-
kopplungskondensator 66 auf, der den Ausgang 64 mit dem Ein-
gang an der Ausgangsleitung 36 koppelt. Die durch den Rück-
kopplungskondensator 66 bewirkte negative Rückkopplung dient
dazu, die Ausgangsleitung 36 auf einem virtuellen Erdpotential
25 zu halten. Insbesondere hat also das Auftauchen eines Signals
in der Ausgangsleitung 36 zur Folge, daß genügend Ladung auf
den Rückkopplungskondensator 66 zurückfließt, um die Aus-
gangsleitung 36 auf ein virtuelles Erdpotential zu bringen.
Durch das Halten der Ausgangsleitung 36 auf einem virtuellen

- 1 Erdpotential wird die Empfindlichkeit der Anordnung gegenüber
einer Änderung der Kabelkapazität und gegenüber Störsignalen
weiter vermindert. Darüberhinaus kann die Ausgangsleitung 36
in einem einfachen geerdeten Abschirmkabel ohne nachteilige
5 Auswirkungen geführt werden. Die mit dem orthogonal ausge-
richteten Dehnungsmesser 16' verbundene Ausgangsleitung 36'
kann in dem gleichen Abschirmkabel parallel zur Leitung 36
verlaufen.
- 10 Der Ausgang 64 des Ladungsverstärkers 62 kann mit einem
phasenempfindlichen Detektor 165 zur Erzeugung eines einfachen
Gleichstromsignales verbunden sein, das proportional zur
Kapazitätsdifferenz und damit proportional zur Deformation
ist. Der Detektor 165, beispielsweise ein Demodulator, dient
15 dazu, die Wechselstromträgersignale zu eliminieren, die
sachliche Amplitudeninformation aber zu erhalten. Der Demo-
dulator ist vorzugsweise phasenempfindlich, um eine Unter-
scheidung zwischen kompressiven und extensiven Deformationen
treffen zu können, die entsprechend der vorstehenden Be-
20 schreibung Ausgangssignale entgegengesetzter Phase erzeugen.

Für die Konstruktion eines zweiachsigen kapazitiven Dehnungs-
messers A entsprechend der vorliegenden Erfindung kann eine
Vielzahl von Materialien verwendet werden. Es wurde jedoch
25 gefunden, daß bestimmte Materialien für die Verwendung des
Dehnungsmessers in Umgebungen mit hoher Temperatur besonders
geeignet sind. So sind die Lamellen 10, 12 und 14 vorzugs-
weise aus Aluminium hergestellt, während die Kondensator-
L platten 22, 24, 22', 24', die Kondensatormessplatten 28 und 28'J

- 1 und die Abschirmplatten 20 vorzugsweise aus auf die Oberfläche
der Lamellen 10, 12 und 14 aufgedrucktem Platin bestehen. Die
Blendenplatten 32, 34, 32' und 34' sind vorzugsweise aus rost-
freiem Stahl hergestellt. Die Durchbrechungen 32a, 34a, 32a'
5 und 34a' werden üblicherweise durch ein übliches Fotoätzver-
fahren erzeugt. Die dielektrischen Isolierschichten 26, 30,
26' und 30' können im wesentlichen von einem dünnen Keramik-
film gebildet sein. Die Leitungen 36, 36', 38 und 40 können
aus Nickel hergestellt sein. Alle diese Materialien wurden
10 aufgrund ihres Widerstandes gegen eine Oxidation bei hohen
Temperaturen ausgewählt, wodurch die bevorzugte Ausführungs-
form der vorliegenden Erfindung besonders geeignet ist für
die Verwendung in Umgebungen mit hohen Temperaturen. So wurde
beispielsweise eine erfindungsgemäße Konstruktion über lange
15 Zeiträume bei Temperaturen von annähernd $593,6^{\circ}\text{C}$ (1100°F)
erfolgreich verwendet. Natürlich können auch andere für eine
gegebene Umgebung geeignete und die erforderlichen elektrischen
Eigenschaften aufweisenden Materialien verwendet werden.
- 20 Der wesentliche Teil der zwischen den Kondensatorplatten
einerseits und der Kondensatormessplatte andererseits ent-
wickelten Kapazität ist eine Folge des Luftspaltes zwischen
den Platten. Der Dehnungsmesser A kann jedoch auch mit irgend-
einer nicht leitenden Flüssigkeit in dem Spalt zwischen diesen
25 Platten arbeiten, so lange diese Flüssigkeit die Bewegung
der Blendenplatten 32, 34, 32' und 34' nicht physisch be-
hindert.

1 Der Dehnungsmesser A gemäß der vorliegenden Erfindung kann in
jeder beliebigen Größe gebaut werden. Eine geeignete Aus-
führungsform weist einen Lamellenstapel von im wesentlichen
quadratischem Grundriß auf mit einer Kantenlänge von 12,7 mm
5 und einer Höhe von 2,31 mm. Eine bevorzugte Nenndicke für alle
Platten und Schichten mit Ausnahme der Lamellen 10, 12 und 14
ist 0,0254 mm. Es wurde gefunden, daß bei einer derartigen
Konstruktion eine Zahl von vier Durchbrechungen 32a oder 34a
in den Blendenplatten 32 oder 34 geeignet ist. Entsprechend
10 weisen bei dieser Ausführungsform die Kondensatorplatten 22
und 24 jeweils vier längliche Vorsprünge oder Finger auf,
wobei vier Kondensatorspalte C1 zur Kopplung der Kondensator-
platte 22 an die Kondensatormessplatte 28 und vier Kondensator-
spalte C2 zur Kopplung der Kondensatorplatte 24 an die Kondensator-
15 satormessplatte 28 vorhanden sind. Natürlich können je nach der
gewünschten Größe und Form des Dehnungsmessers auch andere
Abmessungen und Anzahlen von Durchbrechungen und Spalten ver-
wendet werden.

20

25

2715831

Nummer: 27 15 831
 Int. Cl. 2: G 01 B 7/22
 Anmeldetag: 7. April 1977
 Offenlegungstag: 19. Oktober 1978

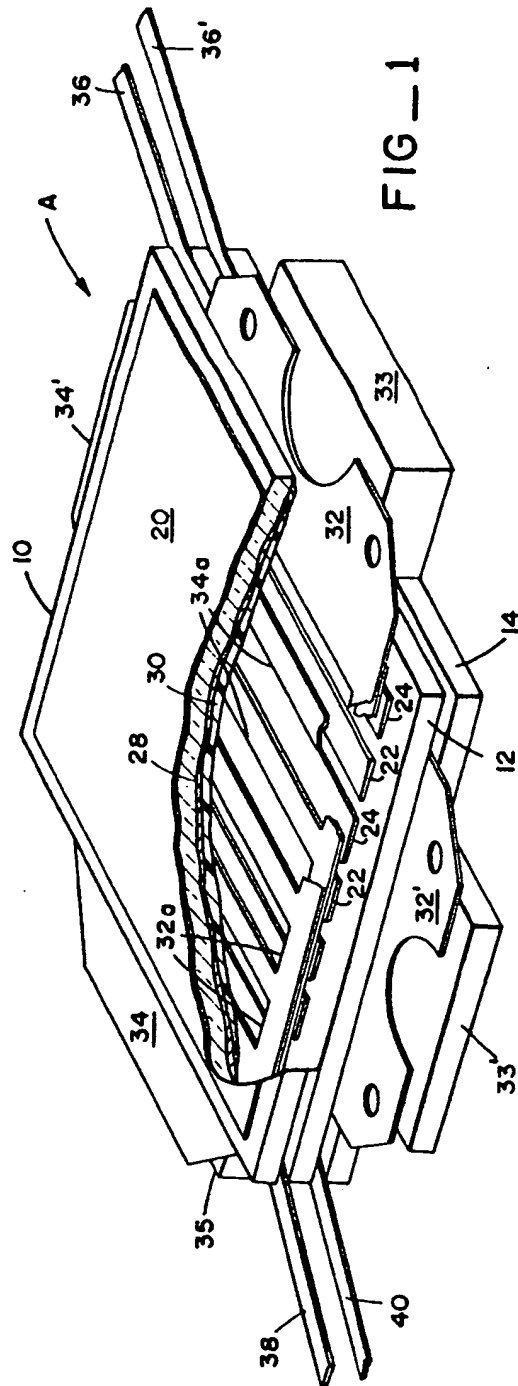


FIG-1

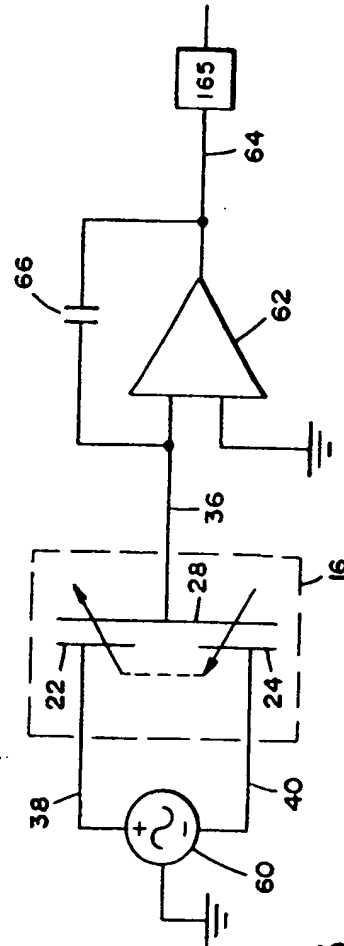


FIG-5

809842/0134

